

## Analogieën met verkeersmanagement

Henk Taale  
*TrafficQuest*  
*Rijkswaterstaat*  
*TU Delft*

Ben Immers  
*TrafficQuest*  
*Immers Advies*

Isabel Wilmink  
*TrafficQuest*  
*TNO*

### **Samenvatting**

Het is van belang om het verkeersmanagementproces zo goed mogelijk te doorgronden en op basis van het begrip van dit proces sturingsprincipes te traceren en uit te werken die toegepast kunnen worden bij het (beter) managen van verkeer in een (wegen)netwerk. Eén van de manieren om meer inzicht in de processen te krijgen is een vergelijking met andere domeinen waarin zich soortgelijke processen afspelen. Dit paper beschrijft de vergelijking van verkeersmanagement met soortgelijke processen in de vakgebieden biologie (zwermen), logistiek, hersenen, communicatienetwerken, elektriciteitsvoorziening, betalingsproces, watermanagement en organisatie. Door het onderling vergelijken van de wijze waarop systemen functioneren en ook door te kijken en te vergelijken hoe het functioneren van deze systemen extern en intern wordt beïnvloed, kunnen interessante parallellen worden getrokken.

### **Trefwoorden**

Verkeersmanagement, analogieën

## 1. Inleiding

Het is van belang om het verkeersmanagementproces zo goed mogelijk te doorgronden en op basis van het begrip van het proces sturingsprincipes te traceren en uit te werken die toegepast kunnen worden bij het beter managen van verkeer in een (wegen)netwerk. Eén van de manieren om meer inzicht in de processen te krijgen is een vergelijking met andere domeinen waarin zich soortgelijke processen afspelen. Om dat te doen heeft TrafficQuest een workshop “Analogieën voor Verkeersmanagement” georganiseerd op 16 november 2012.

In deze workshop zijn inleiders uit verschillende vakgebieden op zoek geweest naar analogieën met het verkeersmanagementproces. Deze vakgebieden waren biologie (zwermen), logistiek, hersenen, communicatienetwerken, elektriciteitsvoorziening, betalingsproces, watermanagement en organisatie. De gevonden analogieën zijn vervolgens gebruikt om:

- Processen te analyseren en onderling te vergelijken;
- Mogelijkheden om processen aan te sturen te inventariseren en te beoordelen;
- Op basis daarvan het inzicht in het verkeersmanagementproces te vergroten.

Door het onderling vergelijken van de wijze waarop systemen functioneren en ook door te kijken en te vergelijken hoe het functioneren van deze systemen extern en intern wordt beïnvloed, kunnen interessante parallellen worden getrokken.

In de workshop stond verkeersmanagement (of ook wel netwerkmanagement of DVM genoemd) centraal (het focussysteem). Onder verkeersmanagement verstaan we het - op basis van actuele, plaats specifieke en voorspelde verkeers- en omgevingsomstandigheden - doelbewust beïnvloeden (informerend, geleiden, sturen) van de kwaliteit van de verkeersafwikkeling in een netwerk door de toepassing van operationele maatregelen zoals verstrekken van informatie, regelen van het verkeer, beïnvloeden keuzegedrag reiziger, toepassen van tijd- en plaatsgebonden beprijzen, etc. Verkeersmanagement is gericht op het beïnvloeden van zowel het vraagpatroon (verplaatsingen per vervoerwijze) als het aanbodpatroon (infrastructuur en daarop aangeboden diensten). Bij de keuze van de maatregelen wordt gebruik gemaakt van gegevens over de actuele en voorspelde verkeerssituatie. Een belangrijke reden om verkeersmanagement toe te passen is de mogelijkheid die daardoor geboden wordt om de beschikbare en soms schaarse capaciteit in het netwerk op een efficiënte wijze in te zetten voor de afwikkeling van het verkeer. Een andere reden voor de toepassing van verkeersmanagement kan zijn dat men de uitstoot van schadelijke stoffen wil beperken of de omvang van de ongevalrisico's die de verkeersdeelnemers lopen bij de deelname aan het verkeer (TrafficQuest, 2012).

Bij verkeersmanagement zijn het dus de voertuigen en meer in het bijzonder de bestuurders van die voertuigen die via een reeks van maatregelen geïnformeerd, geadviseerd en gestuurd worden. In andere systemen is vaak ook sprake van stromen die (extern en intern) beïnvloed worden. De wijze waarop deze stromen worden afgewikkeld kan interessante ideeën opleveren voor het management van verkeer en omgekeerd. Kortom, analogieën met andere disciplines kunnen helpen om problemen in het eigen vakgebied beter te duiden en processen beter te begrijpen en aan te sturen.

Het vergelijken van verschillende systemen met overeenkomstige kenmerken om hiermee nieuwe kennis op te doen is overigens niet nieuw. Al in 1870 schreef James Maxwell dat "The processes of and the deductions applied in the various branches of science are so similar that familiarity with any branch of science may be highly helpful in the study of another branch." (Maxwell, 1927). Toch vormen analogieën nog steeds een onderdeel van de wetenschap waarvan de toepasbaarheid en de potentie niet worden gewaardeerd door veel wetenschappers en technici (Miklovic, 1993). Nu is van geen enkel bestaand verschijnsel (systeem, object, etc.) een ander verschijnsel te vinden zodanig dat beide verschijnselen volledig gelijk zijn aan elkaar. Het is zelfs zo, dat geen enkel verschijnsel identiek is aan zichzelf, wanneer het wordt beschouwd op twee verschillende tijdstippen. Bij analogieën dient dan ook niet gezocht te worden naar systemen die in elk kenmerk analoog zijn met een bepaald focussysteem. Dergelijke analogieën bestaan per definitie niet. Het is wel zinvol om te zoeken naar analogiesystemen die op een aantal aspecten overeenstemmingen vertonen met het focussysteem, of die volledig aan elkaar gelijk zijn, gegeven bepaalde vereenvoudigingen, beschouwingwijzen of abstracties die men toepast. Het hanteren van analogieën voor het vinden van oplossingen voor een bepaald probleem berust dus op het nemen van afstand tot de traditionele en gangbare beschouwingwijzen in het focussysteem om vervolgens het betreffende focussysteem te beschouwen door de bril van het analogiegebied. Afhankelijk van het abstractieniveau waarop men het systeem beschrijft, kunnen verschillende analogieën van toepassing zijn.

Dit paper gaat in op de verschillende bijdragen vanuit de verschillende vakgebieden die tijdens de workshop gepresenteerd zijn. Daarbij worden de gevonden analogieën besproken. Maar eerst wordt kort ingegaan op verkeersmanagement zelf en het zoekproces naar analogieën. Het paper is een bewerking en inkorting van het TrafficQuest rapport "Analogieën met verkeersmanagement – Verslag van de workshop" (Immers, *et al.*, 2013). Het verslag en het bijlagenrapport en is te downloaden van de website van TrafficQuest ([www.traffic-quest.nl](http://www.traffic-quest.nl)).

## 2. Over analogieën

Bij het zoeken naar analogieën met het verkeersmanagement proces, kan een onderscheid worden gemaakt naar een tweetal categorieën van gebieden waarin gezocht kan worden. De eerste categorie wordt gevormd door de zogenaamde 'nabije analogieën'. Dit zijn vakgebieden en disciplines waarvan op voorhand zou kunnen worden verwacht dat daar sprake zal zijn van analogieën. Het opstellen van een lijst met 'nabije analogieën' kan plaats vinden op basis van kennis en ervaring, aangevuld door de algemene beschrijving van verkeersmanagement in het vorige hoofdstuk. Deze lijst kan aangevuld worden met de tweede categorie analogieën, de zogenaamde 'verre analogieën'. Dit zijn analogieën die niet direct een duidelijke link leggen tussen twee gebieden en dus niet a priori geselecteerd zullen worden. Voor het zoeken naar deze 'verre' analogieën kan gebruik gemaakt worden van een hulpmiddel (zie verderop) dat het mogelijk maakt op een systematische en gestructureerde wijze andere vakgebieden in kaart te brengen en hun analogie met strategische, tactische en operationele processen in het wegverkeer en de sturing hiervan door middel van verkeersmanagement te evalueren.

## Hulpmiddel bij het zoeken naar verre analogieën

Het hulpmiddel dat is toegepast bij het zoeken naar 'verre analogieën' ziet er als volgt uit. Op basis van de algemene beschrijving van verkeersmanagement en de verkeersprocessen waarop de verkeersmanagementmaatregelen ingrijpen, is het verkeersmanagement domein geanalyseerd vanuit verschillende invalshoeken. Dit stelde ons in staat specifieke kenmerken van verkeersmanagement te benoemen. In andere vakgebieden en disciplines is vervolgens gezocht naar het voorkomen van deze specifieke kenmerken, dit met als doel mogelijke analogieën met dit vakgebied te achterhalen. Wanneer dit het geval was, is de mate van analogie of overeenkomst, de soort analogie (kwalitatief/kwantitatief/wetmatigheid) en de relevantie hiervan voor verkeer en verkeersmanagement, nader onderzocht. Bij het hulpmiddel voor verre analogieën hebben we de volgende drie beschouwingswijzen onderscheiden (Immers en Westerman, 1996):

### *1. Gelaagdheid van verkeer en verkeersmanagement*

Het verkeersproces en de verkeersmanagementmaatregelen die hierop ingrijpen worden gekenmerkt door een opbouw uit een aantal onderling geschakelde lagen. Deze eerste beschouwingswijze richt zich op het beschrijven, analyseren en in kaart brengen van (de samenhang tussen) deze lagen.

### *2. Processen en componenten binnen verkeer en verkeersmanagement*

Op elke laag van het relevante deel van het verkeerssysteem en de daarmee samenhangende verkeersmanagementinstrumenten vinden bepaalde processen plaats en spelen bepaalde componenten een rol. Deze tweede beschouwingswijze richt zich op het beschrijven, analyseren en in kaart brengen van de betrokken processen en componenten per laag.

### *3. Gegevensstromen ten behoeve van verkeersmanagement*

Op elke laag van het relevante deel van het verkeerssysteem en de daarmee samenhangende verkeersmanagementmaatregelen worden verschillende soorten fysieke verkeersstromen door verkeersmanagement gestuurd, hetgeen verschillende soorten gegevensstromen induceert. Deze derde beschouwingswijze richt zich op het beschrijven, analyseren en laagsgewijs in kaart brengen van de fysieke stromen en de benodigde en gegenereerde gegevensstromen.

## Karakteristieken Verkeersmanagement

Op basis van de principes van sturing van verkeer en vervoer door middel van verkeersmanagement (zie hiervoor ook: De Toekomst van Verkeersmanagement, TrafficQuest, 2012), en het hulpmiddel voor het zoeken naar verre analogieën, kunnen de gevonden karakteristieken voor verkeer en sturing door verkeersmanagement als volgt worden samengevat:

- De gelaagdheid van het transportsysteem, van de processen die zich daarop afspelen en de sturing ervan (geografie, detailniveau, tijdschaal, organisatiecoördinatie en type maatregel);
- Het optreden van verschillende, deels onafhankelijke, deels afhankelijke (deel)processen;
- De gewenste flexibiliteit/adaptiviteit van de sturing van processen;
- Keuzevrijheid van weggebruikers met onderling verschillende attitudes, waaronder gewontevorming in keuzegedrag;
- Het optreden van voorspelbare en onvoorspelbare verstoringen;

- Informatieverschaffing aan weggebruikers: vooraf en tijdens de rit, in het voertuig (RDS-TMC, navigatie) en langs de weg (DRIPs); dynamisch en statisch; voorschrijvend, adviserend en beschrijvend;
- Informatie-uitwisseling tussen beheerder en bestuurder, bestuurders onderling en beheerders onderling (coöperatieve systemen);
- Regels (voorschrijvend, adviserend en beschrijvend) die van toepassing zijn op de afwikkeling van de processen en de naleving hiervan;
- Onderscheid naar doelgroepen waarop verschillende regels van toepassing zijn;
- Handhaving en bewaking;
- De noodzaak tot samenwerking tussen verschillende actoren die bij de processen betrokken zijn.

Er zijn dus veel aspecten binnen de toepassing van verkeersmanagement die zich lenen voor een vergelijking met andere systemen. Het was onmogelijk al deze aspecten in de workshop met de gewenste diepgang te behandelen. Daarom is besloten de vergelijking te beperken tot een drietal aspecten:

- Zelforganisatie versus sturing. Organiseert het systeem (proces) zichzelf en hoe gebeurt dat of wordt bewust sturing van buitenaf opgelegd? Indien beide sturingsprincipes voorkomen: wanneer en hoe grijpt men in?
- In hoeverre is er sprake van een gelaagdheid van het systeem en hoe wordt daarmee omgegaan in de regeling (bij voorbeeld door coördinatie tussen de lagen)?
- Op welke wijze worden de robuustheid (systeem kan tegen een stootje) en de betrouwbaarheid (marges in prestatie-indicatoren zijn klein) van het systeem verzekerd? Welke afwijkende situaties treden op in het functioneren van het systeem en hoe is het systeem daarop berekend?

Deze aspecten zijn voorgelegd aan de inleiders van de gekozen vakgebieden:

- Verkeersmanagement – Ben Immers (TrafficQuest);
- Zwermen (biologie) – Charlotte Hemelrijk (Rijksuniversiteit Groningen);
- Logistiek – Walther Ploos van Amstel (Vrije Universiteit, Amsterdam);
- Hersenen – Martijn van den Heuvel (Universitair Medisch Centrum, Utrecht);
- Communicatienetwerken – Rob Kooij (TNO & TU Delft) en Rob van der Mei (CWI en VU Amsterdam);
- Elektriciteitsvoorziening – Arjan van Voorden (Stedin);
- Betalingsproces – Edward van Dooren (Equens);
- Watermanagement – Wytze Schuurmans (Nelen en Schuurmans);
- Organisatie – Frances Brazier (TU Delft).

In het vervolg van de paper wordt ingegaan op de gevonden analogieën.

### **3. Gevonden analogieën**

#### **Biologie (zwermen en scholen)**

De bewegingen van dieren zijn met enkele regels te beschrijven die enige overeenkomst tonen met verkeersgedrag, bijvoorbeeld de regels uit een voertuigvolgmodel, bedoeld om botsen te voorkomen. Het is interessant om te kijken in hoeverre simulatiemodellen voor bewegingen van groepen dieren en voor voertuigen/verkeerstromen overeenkomen, en waar ze duidelijk

verschillen. Filevorming treedt bijvoorbeeld bij bewegingen van groepen dieren niet vaak op, omdat er meer ruimte is (tussen dieren en daarnaast 3D); bovendien bewegen ze zich voort met ongeveer dezelfde snelheid en ze kunnen sneller reageren, dan automobilisten die specifieke handelingen moeten uitvoeren.



*Figuur 1: Startrek met vogels*

De (wetmatigheden van) bewegingen van groepen dieren lijken vooral interessant daar waar het gaat om het proberen de capaciteit van een weg te vergroten door automatisering van de rijtaak. Dieren kunnen zeer dicht op elkaar bewegen, en zeer homogeen, vogels zelfs met een vaste snelheid. Dit komt, deels omdat ze snellere reactietijden hebben dan mensen en zeer wendbaar zijn. Om reactietijden te verkleinen in het wegverkeer, kijkt men naar de mogelijkheden van platooning (pelotonvorming), bijvoorbeeld door middel van cooperative-adaptive cruise control (C-ACC).

Bij dieren is het groepsgevoel groot. Ze bewegen samen omdat dat de veiligheid vergroot. Zwermen hebben geen leider, hoewel sommige dieren dominanter of meer gemotiveerd zijn (bijvoorbeeld door ervaring of honger). Bij weggebruikers is nauwelijks sprake van groepsgevoel, afgezien van het feit dat men niet op elkaar wil botsen. De vraag is of het nuttig is meer groepsgevoel in verkeerstromen te krijgen, al dan niet ondersteund door technologie (op de weg/in het voertuig), maar ook voor de verspreiding van informatie.

## **Logistiek**

In het goederenvervoer domein wordt gestreefd naar een steeds betere afstemming tussen goederenketens, vervoerketens en infrastructuurketens. Hierdoor kan, gegeven de actuele en totale vervoersvraag, op elk moment de juiste combinatie van schakels gekozen worden. In één woord wordt dit ook wel met synchromodaliteit aangeduid.

*“Bij synchromodaal transport kun je op elk gewenst moment kiezen tussen verschillende modaliteiten, op basis van de actuele omstandigheden... ..Dit betekent dat je iedere keer weer een afweging kunt maken wat de meest wenselijke manier van vervoeren is en welke modaliteiten je daarbij inzet.” (Topteam Logistiek, 2011).*

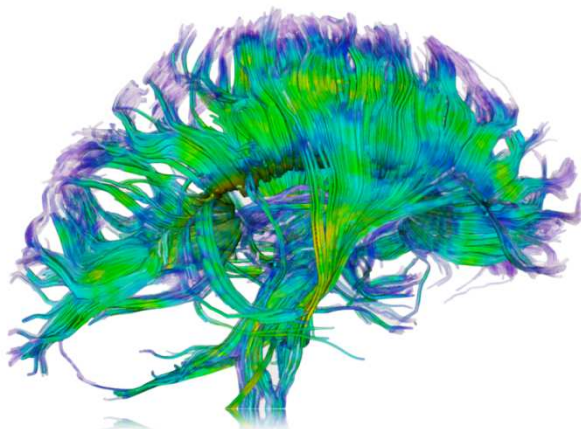
Deze extreme vorm van flexibiliteit is in het goederenvervoer voorsnog geen realiteit, maar geeft een ideaalbeeld weer.

Een belangrijk element van synchromodaal transport is netwerkregie, waarin status en beschikbaarheid van verschillende vervoersmiddelen wordt overzien en, afhankelijk van de wensen van de consument, de voordeligste, snelste en/of meest duurzame dienst kan worden aangeboden. Zo wordt de klant ook niet gedwongen tot een bepaalde modaliteit, maar zal hij garanties krijgen over vertrek- en aankomsttijden, kosten en kwaliteit van het transport, en zal de vervoerder de uiteindelijk meest aantrekkelijke optie voor de klant leveren.

Vertaling naar het personenverkeer toont een toekomstbeeld waarin de reiziger zonder hindernissen van vervoermiddel naar vervoermiddel kan overstappen. In dat geval zou een groot deel van de verplaatsingen bij wijze van spreken al liftend plaats kunnen vinden. In de praktijk zijn deze hindernissen er echter wel. Om binnen het personenverkeer invulling te geven aan synchromodaliteit dienen deze hindernissen eerst weggenomen te worden. En wanneer dat gebeurt, kan synchromodaliteit in het personenverkeer voor een belangrijk deel door middel van zelforganisatie worden ingevuld. Hiervoor is net als binnen de logistiek vereist dat de zogenaamde ‘Situational Awareness’ van de verschillende actoren wordt vergroot. Dit houdt in dat elke actor informatie heeft om een situatie beter te kunnen beoordelen en te beslissen. Om de geïdentificeerde hindernissen weg te nemen, is net als in de logistiek regie noodzakelijk. Hierbij zijn er nog veel vraagtekens bij de organisatiemodellen, transparantie die geboden wordt van de prestatie van ieders netwerk en het delen van elkaars netwerk.

## Hersenen

De hersenen bestaan uit zenuwcellen die onderling verbonden zijn. Deze verbindingen zijn er zowel op de korte als op de lange afstand. De verbindingen worden gelegd via elektrische en soms chemische signalen via (drie) simpele regels. De menselijke hersenen bestaan uit ongeveer 80 miljard neuronen en 1000-10000 keer zoveel connecties, een gigantisch en ook zeer robuust netwerk dus. Sinds een aantal jaren zijn er studies gestart om de hersenen in kaart te brengen. De belangrijke verbindingen tussen gebieden worden daarbij in beeld gebracht en zo ontstaat een soort ‘wegenkaart’. Binnen de hersenen zijn drie lagen te onderscheiden: neuron, hersengebied en brein. Daardoor lijken de eigenschappen te ontstaan. Ook door de efficiënte communicatie en het ontstaan van ‘communicatiewegen’ en ‘hubs’. Dit is vergelijkbaar met wegennet waarbij 40% van het verkeer wordt afgewikkeld op 4% van het netwerk (snelwegen). Bij de hersenen gebeurt 40% van de communicatie door 15% van de verbindingen.



*Figuur 2: Netwerk in de hersenen*

De hersenen bevatten dus een soort netwerk, maar niet duidelijk is hoe dat gebruikt wordt. Ook lijkt er geen sprake van sturing: neuronen ‘vuren’ zonder doel. Routing (veel gebruikte verbindingen) lijkt te ontstaan via gewoontegedrag, iets wat ook in het verkeer speelt. Verder is het netwerk heel robuust, zeker op microniveau (afsterven van hersencellen). Op macroniveau wat minder, maar toch nog redelijk (overnemen van functies). Zelfsturing is heel dominant aanwezig, alleen weten we niet hoe dat in de hersenen werkt.

Een mogelijke analogie met verkeersmanagement ligt in de in-car toepassingen. Zoals in de hersenen neuronen hun burens signalen geven, zo is het denkbaar dat voertuigen de andere voertuigen in de buurt berichten sturen. De analogie gaat in zoverre mank dat dit in de hersenen schijnbaar doelloos gebeurt. Voor in-car toepassingen is de functionaliteit belangrijk. Het is de vraag of functionaliteit zomaar lijkt te ontstaan (hersenen) of aangebracht moet worden.

### **Communicatienetwerk**

Verkeerstromen van verschillende diensten (telefonie, data) worden over dezelfde netwerken afgewikkeld. Hierdoor kan netwerkcapaciteit efficiënter worden benut. Digitale informatie die van A naar B moet worden verzonden wordt in kleinere pakketjes opgedeeld en in pakketten verpakt, deze worden vervolgens over het netwerk verstuurd, waarna ze bij bestemming B worden uitgepakt en op volgorde worden gezet. Verschillende diensten stellen verschillende eisen aan het netwerk. Binnen communicatienetwerken is het niet bezwaarlijk dat pakketjes af en toe worden weggegooid als dat voor de afwikkeling zo uitkomt. Problemen die in communicatienetwerken ontstaan bij de afwikkeling van verkeer worden vooral veroorzaakt door het onvoorspelbare, random, karakter van het verkeer. Bij problemen in het netwerk wordt in toenemende mate een beroep gedaan op zelforganisatie. Aan de hand van een viertal maatregelen die binnen communicatienetwerken worden ingezet wordt hieronder uitgewerkt hoe toepassing van deze maatregelen in het personenverkeer eruit zou kunnen zien.



*Figuur 3: Beschikbaarheid van internet*

‘Traffic policing’ is een filtermechanisme dat controleert of de gebruiker niet meer dan het afgesproken maximale volume aan verkeer door het netwerk stuurt, zoals vastgelegd in een SLA tussen de netwerkaanbieder en de klant. De meest gebruikte implementatie van traffic policing is het zogenaamde ‘Leaky Bucket’ mechanisme, waarbij teveel verstuurd pakketten



een lage prioriteit krijgen of zelfs worden weggegooid. Er is voor deze maatregel geen parallel te trekken met reguliere verkeersnetwerken. Als er al sprake is van een SLA dan is deze eenzijdig. De wegbeheerder wenst een bepaalde betrouwbaarheid te bieden aan de weggebruiker voor wat betreft de reistijd, maar verwacht hiervoor geen noemenswaardige tegenprestatie van de kant van de weggebruiker. De enige voorwaarden waaraan een weggebruiker nu moet voldoen als dat deze beschikt over een geldig rijbewijs en dat de wegenbelasting wordt betaald.

‘Traffic shaping’ is een filtermechanisme dat ervoor zorgt dat pieken in de verkeersstromen worden afgevlakt, simpelweg door het vertragen van pakketten indien er teveel verkeer in een korte periode aan het netwerk wordt aangeboden. Dit is vergelijkbaar met de werking van een toeritdoseerinstallatie in reguliere verkeersnetwerken. Ook een maatregel als spitsmijden kan onder deze categorie maatregelen geschaard worden, hoewel de piek dan een langere tijdsperiode betreft.

‘Admission Control’ een mechanisme om te beslissen of nieuwe verkeersstromen worden toegelaten tot het netwerk. Een communicatienetwerk gebruikt daartoe vaak een zgn. bandwidth broker, die beslist of door het toelaten van een nieuwe verkeersstroom of klant nog wel aan de afspraken (SLA’s) met de bestaande klanten wordt voldaan. Dit is vergelijkbaar met de uitgifte van parkeervergunningen in binnensteden. Nieuwe parkeervergunningen worden niet uitgegeven wanneer als gevolg hiervan de parkeernorm wordt overschreden. Ook de milieuzones rondom binnensteden kunnen gezien worden als een vorm van ‘admission control’.

Een andere techniek is het toekennen van prioriteiten aan verschillende verkeersstromen op basis van hun kwaliteitseisen en het prijskaartje. Binnen communicatienetwerken is het heel gewoon dat real-time verkeer voorrang krijgt op niet real-time verkeer, en dat klanten die veel betalen op de één of andere manier voorrang krijgen op klanten die weinig betalen. Dit type maatregel wordt binnen het reguliere verkeerssysteem maar zeer beperkt toegepast. Vooral omdat dit indruist tegen het gelijkheidsbeginsel. Dat wil echter niet zeggen dat prioriteit in het reguliere verkeerssysteem niet wordt toegepast. Prioriteit wordt bijvoorbeeld gegeven aan voertuigen van hulpverleners, waaronder politie, brandweer en ambulance. Daarnaast kan in de regeling van kruispunten prioriteit worden gegeven aan groepen verkeersdeelnemers. Zo kan bij veel kruispunten het openbaar vervoer ongehinderd doorrijden. Ook zijn er voorbeelden waarbij prioriteit wordt gegeven aan langzaam verkeer bij regen (Groningen) en aan vrachtverkeer om milieudoelinden (Helmond). Prioritering vindt echter nooit plaats op basis van de reistijdkosten van een verkeersdeelnemer.

## **Elektriciteitsvoorziening**

Bij de elektriciteitsvoorziening (EV) staat balanshandhaving centraal. Het gaat om de afstemming tussen aanbod (= opgewekt vermogen) en vraag (= gevraagd vermogen + verliezen). In het verleden was er veelal sprake van één aanbieder, maar recente ontwikkelingen (windenergie, zonnecellen, etc.) maken de balanshandhaving complex, waardoor sturing vereist is op lagere spanningsniveaus. Het EV-systeem is zelforganiserend indien er sprake is van uitval. Dat geldt voor het hoogspanningsnet en het middenspanningsnet. In deze netten zit voldoende redundantie. Door de introductie van de elektrische auto vertoont de vraag grotere fluctuaties. Dit maakt sturing op basis van prijs/tarief noodzakelijk.

Overeenkomsten tussen het EV-systeem en het verkeerssysteem zijn de gelaagdheid en de relatie tussen het niveau en de daarmee samenhangende keuze in het netwerk ontwerp. Andere belangrijke overeenkomsten zijn:

- Financiële prikkels kunnen worden ingezet om de vraag te beïnvloeden,
- Als ernstige verstoringen optreden leidt dat tot grote chaos.

Een belangrijk verschil is dat bij een EV-systeem weinig omwegen beschikbaar zijn; sluiptverkeer is onmogelijk. Ook is het zo dat bij een EV-systeem er geen doorstroomverschillen bestaan: er is wel of geen transport. Andere belangrijke verschillen zijn:

- De EV-hoofdinfrastructuur wordt niet (gepland) onderbroken,
- Compensatie vergoedingen worden uitgekeerd indien EV-systeem niet voldoende presteert.

Het verkeerssysteem, gebaseerd op de EV-analogie zou er als volgt uit kunnen zien. Het netwerk kent een gelaagde opbouw. Het verkeer stroomt met een constante snelheid over het netwerk (snelheid kan wel per netwerklaag verschillen). Reizigers (automobilisten) geven bij (gewenst) vertrek aan waar ze naartoe willen gaan, eventueel aangevuld met de voorkeursroute. Op basis van deze gegevens kan de (tijdsafhankelijke) positie in het landelijk netwerkmodel worden bepaald. Indien overbelasting dreigt wordt de reiziger een alternatieve route en/of een alternatief vertrektijdstip aangeboden. Dit advies kan gebaseerd zijn op het first-in-first-out principe of op de bereidheid om te betalen (financiële prikkel). Nu kun je nooit exact bepalen hoe druk het op een weg is (er zit altijd enige spreiding in vertrektijdstip en snelheid). Daarom is het belangrijk om lokaal te kunnen fijnregelen. Dat zou kunnen door alle opritten te voorzien van een buffer. Mocht de vraag dreigen groter te worden dan het aanbod, dan kan via een buffer het dreigende probleem worden opgelost.

De dimensionering van het netwerk vraagt enige aandacht. Met uitzondering van de buffers staan de voertuigen nergens stil. Nu biedt het advies voor wat betreft het vertrektijdstip (in combinatie met een financiële prikkel) veel mogelijkheden tot vlakken van de piek. Het zal duidelijk zijn dat een ruim gedimensioneerd netwerk minder afstemming vraagt. Het flexibel kunnen inzetten van de capaciteit (flexibele infrastructuur) vermindert de noodzakelijke reservecapaciteit. Bij de dimensionering (en de vastlegging van de structuur van het netwerk) is het noodzakelijk rekening te houden met uitval als gevolg van incidenten, onderhoudswerkzaamheden, etc. en met (lokale) extremen in de vraag, veroorzaakt door evenementen, etc. Belangrijk voor het functioneren van dit concept is dat de knooppunten altijd voldoende capaciteit kunnen bieden, dit gegeven de kenmerken van het vraagpatroon. Dit impliceert dat knooppunten (kruispunten) ruim (en flexibel) ontworpen moeten worden.

## Betalingsproces

Bij betalingsverkeer is er sprake van stromen (in dit geval van transactieberichten). Er zijn pieken, hoewel niet op dezelfde tijdstippen als op de weg. Er is sprake van zeer strak management van de stromen van transactieberichten. Er zijn heel duidelijke afspraken tussen de verschillende betrokken partijen, maar er is niemand die de totaalregie heeft. Robuustheid en betrouwbaarheid zijn heel belangrijk. Om dat te garanderen zijn er:

- protocollen;
- beheersprocessen;
- continue monitoring;
- dubbele uitvoering van applicaties, systemen en netwerken;

- uitwijksystemen;
- periodieke audits.

Wat opvalt is dat robuustheid en betrouwbaarheid zo belangrijk zijn, dat er nogal wat redundantie in het systeem gebouwd is. Kennelijk is dat financieel haalbaar. Er zijn ook zeer duidelijk afspraken (SLA's) tussen de betrokken partijen. De stromen in het betaalverkeer kennen weliswaar ook pieken, maar die zijn te voorspellen (wel “evenementen” maar geen “incidenten”). Het management is sturend en niet informatief. Een groot verschil met wegverkeer is dat betalingsverkeer heel strak gestuurd is: een betaling vergt op allerlei momenten verificatie (ben je wel wie je zegt dat je bent, heb je wel een bankrekening waar genoeg op staat). Voor verkeersmanagement is interessant hoe besloten wordt waar redundantie ingebouwd moet worden en hoeveel. En hoe de betrokken partijen tot afspraken komen.

Enigszins analoog aan alle verificaties bij betalingsverkeer, zou een voertuig pas toegelaten kunnen worden op wegen die overbelast zijn als daarvoor toestemming is gekregen. Dit maakt het nodig dat de toegang tot deze wegen gecontroleerd is, bijvoorbeeld in de vorm van “tolpoorten”. Overigens is het niet per se noodzakelijk om ook tol te heffen. Een voertuig dient een aanvraag in voor een bepaald tijdslot, die ogenblikkelijk of wordt goedgekeurd, of afgekeurd, waarbij een alternatief tijdslot of een alternatieve route geadviseerd wordt. Er is een instantie nodig die de wegcapaciteit beheert en uitdeelt (wellicht via service providers) aan weggebruikers. Dit zou op allerlei manieren kunnen, bijvoorbeeld first reserved, first served en iedereen heeft een budget, maar kan ritten bijkopen als daar ruimte voor is.

Toegang tot een wegvak kan aanvullend nog gereguleerd worden met een buffer of toeritdosering, zodat een goede doorstroming op het wegvak (en de aanliggende wegvakken) gegarandeerd kan worden. Op de meest filegevoelige routes wordt redundantie ingebouwd, in de vorm van extra inzetbare capaciteit, alternatieve (niet veel langere) routes met overcapaciteit, buffers, etc. Betrokken partijen zouden het er samen over eens moeten worden waar redundantie echt wat oplevert.

## **Watermanagement**

Watermanagement gaat over het beheersen van de waterstromen in Nederland en bestaat eigenlijk uit twee componenten: afvoer en berging. Watermanagement speelt zich op allerlei niveaus af: van Rijkswaterstaat tot individuele huishoudens. Gelaagdheid is daarbij erg belangrijk. Zo vindt de afvoer van water plaats van straatkolk, via rioolbuis, naar riooldistricten, hoofdriolen tot de afvalwaterzuivering, die weer loost op een kanaal of rivier. Deze gelaagdheid is ook terug te vinden op fysiek, organisatorisch en financieel vlak.

Water wil niets, maar stroomt alleen en wel van hoog naar laag. Elk watersysteem is een afvoersysteem met een bepaalde buffercapaciteit om belastingspieken “op te vangen”. Wanneer de benodigde berging groter is dan de bergingscapaciteit, loopt het systeem over en ontstaat wateroverlast. Om overlast te voorkomen zijn er ‘kunstwerken’ om de stroom te regelen. En dat geldt ook weer voor alle schaalniveaus (van toilet tot de Oosterscheldekering). De frequentie van sturing loopt van seconden naar seizoenen. Ingrijpen gebeurt bij normale omstandigheden vooral door metingen, voorspellingen en beslismodellen. Er wordt veel gemodelleerd. Bij calamiteiten is er sprake van handbediening en bestuurlijk inmenging. Bestuurlijke verantwoordelijkheid speelt daarbij een grote rol.



*Figuur 4: Oosterscheldekering*

De toegestane mate van overlast is vastgelegd in normen. De trend in watermanagement is om van een normbenadering naar een risicobenadering te gaan, waarbij de schade per jaar wordt bepaald en afgewogen tegen investeringen om deze schade te voorkomen. Andere ontwikkelingen zijn er in informatiemanagement, real-time sensoren, real-time control en integraal beheer. Nu is het nog veel feedback regelen, maar feedforward is in opkomst.

Verkeersmanagement heeft een sterke analogie met watermanagement. Verkeer wordt vaak gemodelleerd als een vloeistofstroom en de daarbij horende theorie. Watermanagement is alleen sturen met doseren en buffers. De fysieke gelaagdheid speelt een belangrijke rol en dat is bij verkeersmanagement ook zo (wegvak, traject, deelnetwerk, netwerk), evenals de organisatorische gelaagdheid (verschillende wegbeheerders). Ook de hierboven genoemde ontwikkelingen in watermanagement zijn bij verkeersmanagement aan te wijzen.

Een strikte analogie zou zijn dat verkeer alleen maar gestuurd wordt. Door middel van doseren en buffers wordt dan geprobeerd een doel te halen (in watermanagement is dat de norm). Daarbij zouden verkeersmodellen een veel grotere rol moeten spelen dan nu het geval is. Daarbij gaat het om real-time modellen, maar ook om voorspellende modellen. De verkeerscentrale wordt dan ingezet om het verkeer te bewaken en waar nodig bij te sturen of weer op gang te helpen (incident management).

## **Organisatie**

Voor het aspect organisatie is gekeken naar grootschalige infrastructurele systemen. Dat zijn genetwerkte systemen waarin 3 lagen kunnen worden onderscheiden:

- fysieke laag (fysieke infrastructuur),
- communicatielaag, ICT (dekking, clustering, virtuele organisaties),
- participatielaag (sociale structuren, mens-netwerk interactie, bestuur).

Belangrijke kenmerken van een dergelijk systeem zijn:

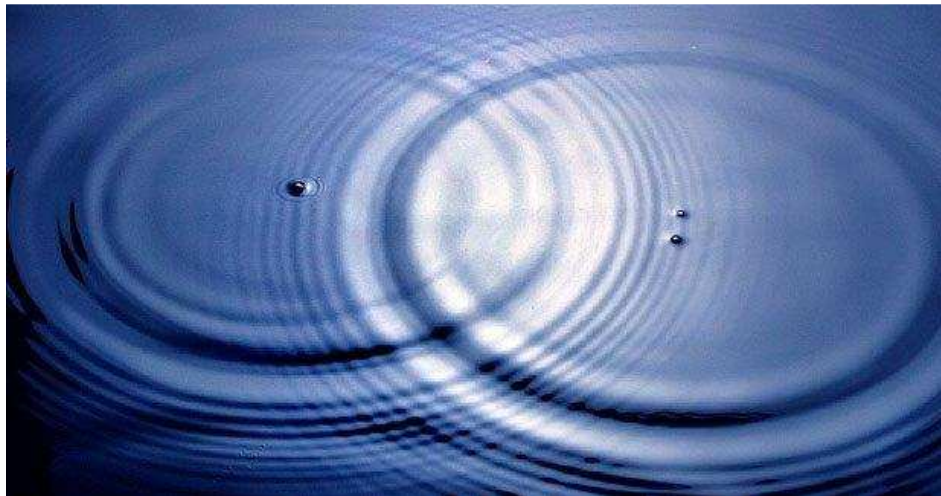
- self-management: dit vindt plaats binnen elk niveau, en vergt interactie tussen de drie lagen,
- self-organisation, het systeem regelt bepaalde dingen zelf door coördinatiemechanismen,
- self-healing: de mogelijkheid van het systeem om zichzelf te herstellen van een storing.

Belangrijke uitdagingen bij het vormgeven van het systeem zijn: Hoe is dit te realiseren? Welke informatie - en communicatiestructuren werken het beste? Hoe houden we de kwaliteit van het functioneren van het systeem op orde? Hoe zit het met de toekenning van taken en verantwoordelijkheden (accountability)? Zijn garanties ten aanzien privacy gewenst? En zo zijn er meer vragen te stellen.

Zelforganisatie gebaseerd op lokale coördinatie vraagt om een uitwerking van het ontwerp op een drietal gebieden:

- Creëer een vertrouwensbasis (sociale acceptatie, transparantie, veiligheid en zekerheid),
- Werk de autonome componenten uit (empowerment, self-management, self-regulation),
- Denk na over de communicatie (betrokkenheid, aanwezigheid, bekrachtiging).

Gaming is een interessante ontwikkelomgeving om het 'gedrag' van dit soort systemen en het gedrag daarvan verder te onderzoeken. Het verschaft ook mogelijkheden voor simulatie en emulatie bij het bestuderen van het systeem in de loop van de verschillende fasen van systeemontwerp en het verkennen van verschillende ontwerpkeuzes (volledig gedistribueerd vs. centrale sturing, etc.),



*Figuur 5: Zelforganisatie of sturing?*

Als we zoeken naar analogieën met het verkeerssysteem dan wordt het basisprincipe dat het verkeer zichzelf managet, waarbij afstemming plaatsvindt op basis van lokale coördinatie (zoals in een zwerm). Verder vindt er voortdurend afstemming plaats tussen de verschillende stakeholders over de te realiseren kwaliteit van de verkeersafwikkeling, de in te zetten sturingsmechanismen, de mate van transparantie, de te garanderen privacy, etc. Men kan daarbij denken aan een forum waarin al deze zaken aan bod komen en op basis waarvan keuzes worden gemaakt. Voortdurende feedback kan aanleiding geven om eerder gemaakte keuzes aan te passen.

Een mogelijke invulling ziet er dan als volgt uit. In eerste instantie gaat iedereen op pad op basis van eigen voorkeuren. De lokale afstemming bestaat eruit dat men in familie- of

kennissenverband onderling afstemt en verder vindt er tijdens het verplaatsen lokaal afstemming plaats (bijv. ter hoogte van kruispunten, invoegstroken, etc.). Daarbij worden sturingsprincipes toegepast waar men eerder overeenstemming over heeft bereikt. Voorts zullen eisen t.a.v. veiligheid, doorstroming en leefbaarheid zich vertalen in allerlei regels die van toepassing zijn op de verkeersafwikkeling. Monitoring van de kwaliteit van de verkeersafwikkeling, maar ook persoonlijke ervaringen kunnen aanleiding geven om de onderlinge afstemming uit te breiden. Dit is een transparant proces mede waardoor de sociale acceptatie min of meer verzekerd is. Om de onderlinge afstemming te verbeteren zullen de stakeholders bereid moeten zijn om informatie over hun toekomstig handelen te verstrekken. Des te meer informatie men bereid is te delen des te betere afstemming kan worden gerealiseerd. Een belangrijk punt daarbij is dat men bereid is de uitkomsten van het sturingsproces te accepteren.

In principe kunnen voor wat betreft de vormgeving van de sturing twee benaderingen worden toegepast. De eerste benadering is gericht op het realiseren van een gebruikersoptimum. Iedereen kiest de voor hem/haar meest gunstige afwikkeling van de verplaatsing. De tweede benadering is gericht op het realiseren van een systeemoptimum. In dat geval wordt de afwikkeling van de verplaatsingen geoptimaliseerd volgens een onderling overeengekomen optimalisatiecriterium. Reizigers accepteren de consequenties hiervan voor wat betreft de afwikkeling van hun reis. Deze laatste invulling heeft echter nauwelijks nog enige relatie met zelforganisatie. Resterend de uitwerking op basis van het gebruikersoptimum. Deze uitwerking verschaft geen enkele garantie voor wat betreft de optimale afwikkeling van het verkeer. Maar ook in dit geval is het altijd mogelijk verbeteringen in de verkeersafwikkeling te suggereren (bijv. op basis van het 'fairness' principe). Indien er consensus over een verbeteringvoorstel verkregen wordt kan de nieuwe regeling worden ingevoerd. Snelle betrouwbare communicatie is belangrijk om dit soort verbeteringsprocessen te ondersteunen, maar het zal ook duidelijk zijn dat consensus in veel gevallen niet snel verkregen zal worden, zeker als er winnaars en verliezers zijn. Een gevolg daarvan is dat het systeem altijd ondermaats blijft presteren. Dezelfde procedures kunnen worden toegepast bij incidenten en evenementen, waarbij dan wel de kanttekening geplaatst dient te worden dat urgente situaties eerder vragen om een oplossing, met als kanttekening dat indien een beslissing op basis van consensus niet tijdig genomen kan worden, deze geforceerd zal moeten worden. Dit zou kunnen impliceren dat reizigers bereid zijn de keuze voor het toe te passen sturingsprincipe (een reeks van maatregelen) over te laten aan een externe onpartijdige instantie die heeft aangetoond op een professionele wijze dit soort problemen te kunnen oplossen.

#### **4. Conclusie**

Dit paper beschrijft de resultaten van een workshop waarin nagedacht is over analogieën met verkeersmanagement vanuit verschillende andere vakgebieden. De bedoeling was om voor de ontwikkeling en toepassing van verkeersmanagement te leren hoe in andere vakgebieden er met bepaalde zaken wordt omgegaan en hoe bepaalde processen geregeld. Een voorlopige conclusie is dat de gevonden analogie voor bijna alle vakgebieden toch wel het principe van zelforganisatie is, die in meer of mindere mate gefaciliteerd wordt (communicatie, zwermen). Daartegenover staat het principe van centrale sturing, dat ook wel toegepast wordt (watermanagement, elektriciteitsvoorziening). In elk vakgebied komt dat dus terug en het is interessant om te zien hoe dat nu bij verkeersmanagement zit en wat de gewenste situatie

moet zijn. Zeker in het licht van het beleid van het ministerie dat inzet op meer zelforganisatie en minder sturing.

TrafficQuest gaat daarom hiermee nog verder en zal proberen om drie mogelijke toekomst-scenario's voor verkeersmanagement verder uit te werken. Deze scenario's zijn: complete zelforganisatie, sterke sturing, of een hybride vorm van zelforganisatie en sturing.

### **Referenties**

Immers, L.H. en Westerman, M. (1996), Analogieën met verkeer en vervoer met nadruk op dynamisch verkeersmanagement, TNO-INRO rapport nr. 95/NV/310. In opdracht van Rijkswaterstaat Adviesdienst Verkeer en Vervoer, december 1996.

Immers, L.H., Taale, H., Wilmink, I. en Van Katwijk, R. (2013), Analogieën met verkeersmanagement – Verslag van de workshop 16-11-2012, TrafficQuest, april 2013.

Maxwell, J.C. (1927), The Scientific Papers, pp. 215-229, Address to the Mathematical and Physical Sections of the British Association, September 15, 1870.

Miklovic, D.T. (1993), Real-Time Control Networks, Instrument Society of America, North Carolina, USA, 1993, ISBN 1-55617-231-1.

Topteam Logistiek (2011), Partituur naar de top, Connekt, Delft, juni 2011.

TrafficQuest (2012), De toekomst van Verkeersmanagement, TrafficQuest, Centre for Expertise on Traffic Management, Delft, 2012.